

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2017.02.09

广东珠海-坦洲地区地面沉降风险评价

段 梅

(广东省地质局第四地质大队, 广东 湛江 524049)

摘要: 选择珠江三角洲地面沉降最为典型的地段——珠海中西部至坦洲地区, 根据区域地质条件、水文地质条件和地面沉降现状, 系统分析了地面沉降机理和主要影响因素, 建立了地面沉降风险评价体系。利用 MapGIS 空间分析功能, 在地面沉降易发性、危险性和现状评价的基础上, 开展地面沉降风险综合评价。本研究成果可为珠海-坦洲地区地面沉降防灾减灾决策提供科学依据。

关键词: 地面沉降; 易发性; 危险性; 风险评价; 珠海-坦洲地区

中图分类号: P642.26

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2017)02-0069-09

Risk evaluation of ground subsidence in typical land subsidence zones of Zhuhai-Tanzhou area

DUAN Mei

(The Fourth Geology of Guangdong Geological Bureau, Zhanjiang, Guangdong 524049, China)

Abstract: As the most typical zones of land subsidence in the pearl River Delta, base on geological and hydro-geological conditions and the current characteristic of land subsidence, formation mechanism of ground subsidence and the main factors were analyzed. Through selective preference for the evaluating indicators in the system, an indicator system of risk evaluation on land subsidence was established according to the practical situation in the areas along Zhuhai-Tanzhou. Based on the evaluation of susceptibility, hazard vulnerability and current status of ground subsidence, the ground subsidence risk was evaluated with MAPGIS tools. The research could provide a scientific basis for the disasters prevention policy-making of Zhuhai-tanzhou area.

Keywords: land subsidence; susceptibility; hazard vulnerability; risk evaluation; Zhuhai-tanzhou area

0 引言

地面沉降在沿海三角洲地区和地下水主采区是常见的地质灾害, 珠江三角洲地区也不例外。随着社会经济快速发展, 珠江三角洲平原区的地面沉降灾害日益严重, 珠海-坦洲地区作为典型区域, 地面沉降现象危害严重。多位学者对该区地面沉降进行了分析研究, 如支兵发^[1]、董好刚等^[2]、张宇明^[3]对珠江三角洲经济区的地面沉降现象及其危害等进行了阐述, 张琢^[4]、骆以道^[5]

等对珠三角地区软基沉降计算预测进行了研究, 刘会平^[6]对广州市地面沉降危险性进行了评价。以上研究涉及风险评价较少。地面沉降风险评价在国内外已有部分学者开展研究, 罗文林^[7]等在分析比较当前地面沉降灾害危险性评估方法的基础上, 提出了规划阶段地面沉降风险评估方法; 段学敏^[8]、刘德成等^[9]分别对沧州地区、北京市通州区开展地面沉降危险性评价; 杨勇等^[10]对北京市开展地面沉降易发性分区; 姚晶娟^[11]、于军^[12]等对江苏省锡西—澄南地区进行地面沉降易损

收稿日期: 2016-09-30; 修订日期: 2016-12-08

基金项目: 中国地质调查项目: 珠江三角洲地区地面沉降调查(水[2013]02-025-018)

作者简介: 段 梅(1985-), 女, 云南建水人, 环境工程专业, 工程师, 主要从事水文、工程和环境地质调查工作。E-mail: 41548316@

性、风险评价。为了减轻地面沉降造成的危害,本研究以珠海-坦洲地区的地质、水文地质条件、地面沉降现状为基础,通过系统分析区内地面沉降的机理和影响因素,建立本区地面沉降风险评价体系,利用 MapGIS 空间分析功能,在开展地面沉降易发性、危险性和现状评价的基础上,进行地面沉降风险综合评价,并提出防治建议,可为本区城市规划和减灾防灾提供科学依据。

1 研究区地质环境概况

1.1 自然地理

研究区位于珠江口西岸南段,由中山市坦洲镇-珠海市香洲区南部-金湾区-斗门区的大部分地区组成,面积约 134 3 km²。濒临南海,地表水系发育。与澳门比邻,多条交通干线过境而过,经济、交通发达。

1.2 地质地貌

研究区构造上位于纬向构造体系与早期新华夏系交接复合部位,南部与珠江口盆地相毗邻,被北东及北西向断裂分割成块状隆起或沉降的地貌单元,隆起山地及冲积海积平原组成棋盘格式地貌。研究区地层岩石较简单,山地为多期次侵入花岗岩及泥盆系砂岩等岩石,平原区则是在花岗岩、砂岩等岩石形成的基底之上,沿珠江水系出海河道流域沉积一套冲积、海河堆积物或沿海地区沉积海积物而成,沉积物多为深灰色淤泥、淤泥质土夹少量松散状粉细砂,多属于软土。区内软土分布广泛,约占陆地总面积 70%。其厚度一般大

于 10 m,最大可达 63.8 m,具有由三角洲顶端往前缘由薄增厚的特点。由于形成机制的特殊性,具有含水量大、压缩性高及承载力低且具结构性等特性,故本区土体稳定性很差。加之近年经济快速发展,伴随工程建设、围海造地等工程活动,新近欠固结人工填土分布范围剧增,导致由软土和新近欠固结人工填土组成的软弱类土在区内广泛分布。

1.3 水文地质概况

本区地下水类型和分布受地形地貌的控制,由基岩组成的山地和平原基底赋存少量基岩裂隙水,平原区赋存少量松散岩类孔隙水。由于历史上海侵海退的影响,加上局部海水倒灌的影响,平原区地下水以微咸-咸水为主,仅在丘间谷地等近山区分布少量淡水。目前,仅在平原区开采地下咸水用于水产养殖,开采深度 20 ~ 35 m,主要集中在 4 月和 8 月开采,其余时间少量开采。

2 地面沉降现状与影响因素

2.1 地面沉降现状

随着近年人类活动对地质环境影响加剧,区内地面沉降进入快速发展阶段。通过 InSAR 解译获得平原区 2007-2010 年平均沉降速率 20 ~ 40 mm/a;据 2012-2013 年水准监测和 GPS 监测数据,平原区沉降速率以 10 ~ 50 mm/a 为主,最大达 122 mm/a (图1);2013 年野外实测累计沉降量 10 ~ 145 cm 不

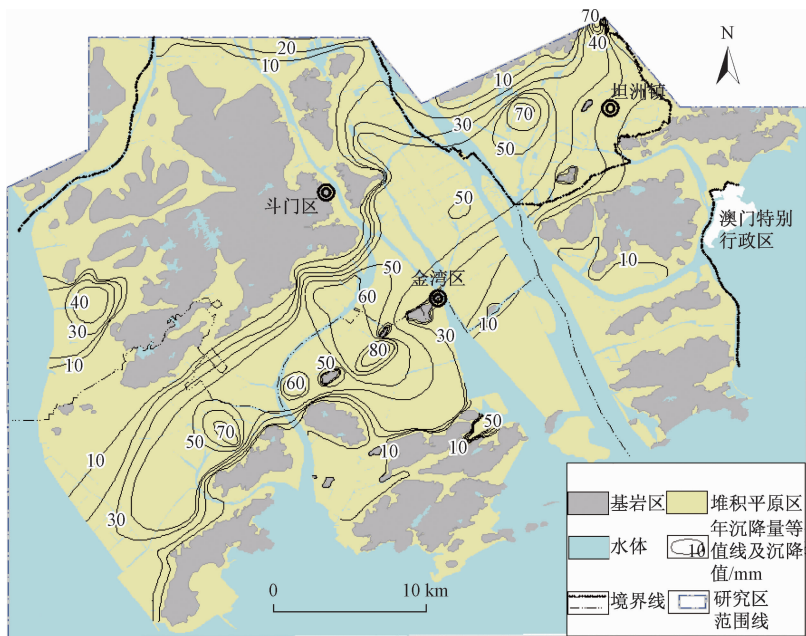


图1 珠海-坦洲地区地面沉降速率等值线图

Fig.1 Contours of land subsidence speed at Zhuhai-Tanzhou area

等。据局部典型地段监测资料,如珠海大道线路,1994-2003 年沉降量为 21.1~73.1 cm,平均沉降量为 44.3 cm,估算平均沉降速率 2.11~7.31 cm/a; 2007-2010 年平均沉降速率在 20~40 mm/a; 2012-2013 年沉降速率以 20~60 mm/a 为主,其沉降速率总体上呈上升趋势。同时,调查发现地面沉降区域与软弱土层分布范围基本一致,沉降灾害点则多分布于居民区、公路沿线、工业园等人类活动较为频繁的地段。地面沉降对区内构筑物造成不同程度的影响:直接在软土上建造的低矮建筑物发生整体下沉、倾斜开裂、变形等,形成“矮脚楼”;以基岩为持力层的建筑则地板陷落或悬空,形成“吊脚楼”;经过沉降区的管网、给水供气等管道设施随地面不均匀沉降而发生弯曲变形甚至折断;软土区公路路基不均匀下沉,路面波状起伏、路基位移、路桥接触处出现不均匀沉降差、路面开裂等现象^[1,13-15]。总体上,研究区地面沉降现象十分严重。

2.2 地面沉降影响因素

地面沉降产生需要一定的地质、水文地质条件和土层内的应力转变(由水承担的应力不断转移到土颗粒上)条件。本区地面沉降影响因素可分为:

内因:区域地质、水文地质条件,是地面沉降产生的物质基础和先决条件。区内平原区基底岩石虽然埋藏较浅,但其上覆盖第四纪松散堆积层多为厚 20~50 m 软土、欠固结填土等软弱类土,在自身重力或外力作用下,软弱类土固结下沉。第四纪松散堆积层是本区地面沉降的主要发生层位。

外因:包括外部动力和人为活动带来的影响,主要为人类活动,包括超采地下水、上部荷载和交通线路动态附加应力等^[16-20]。(1)超采地下水导致地下水位下降。近年区内大力发展水产养殖业致使地下咸水开

采量剧增,局部地段严重超采,水位急剧下降,形成地下水降落漏斗。随着地下水水头压力的消散,土体传递的有效应力相应增大,颗粒之间孔隙度降低,加之水流渗透作用,土体颗粒重新排列变得更密实,同时降低颗粒本身强度,土体被压缩固结^[21-22]。(2)上部荷载主要为上部建筑物和人工填土产生的应力。平原上老旧乡村住宅区均以天然地基作为简易基础支撑平台,基础直接置于未经固结处理的软弱类土之上,在上部建筑的压力作用下,软弱类土发生压密固结而导致上部建筑整体下沉;此外,人工填土面积大增甚至连续成片,在堆土的重力作用下,软弱类土体压密固结。(3)交通线路车流产生的动态附加应力。区内经济活跃,交通发达,软基公路未经压密处理的软弱类土在车流产生的动态附加应力作用下形成系列的瞬时变形和压密固结沉降。

3 地面沉降风险评价

根据滑坡专家 Varnes 提出地质灾害风险的定义,地面沉降风险是地面沉降对人类社会及其生存环境所造成危害或不利影响的可能性及不确定性,包括地面沉降发生的可能性(即易发性或危险性)和造成的后果(即易损性)两个方面。根据地面沉降风险的含义,地面沉降风险评价的核心研究内容应包括在全面分析地面沉降风险的基础上构建风险评价指标体系,进行地面沉降危害现状、易发性和易损性评价并开展地面沉降风险综合评价,提出地面沉降风险防控建议等(图 2)^[7,12]。地面沉降的易发性和易损性分别描述地面沉降发生的概率和可能产生的后果的危害,是预测评价组成部分。地面沉降现状评价是实时评价,与预测评价组成地面沉降风险综合评价。

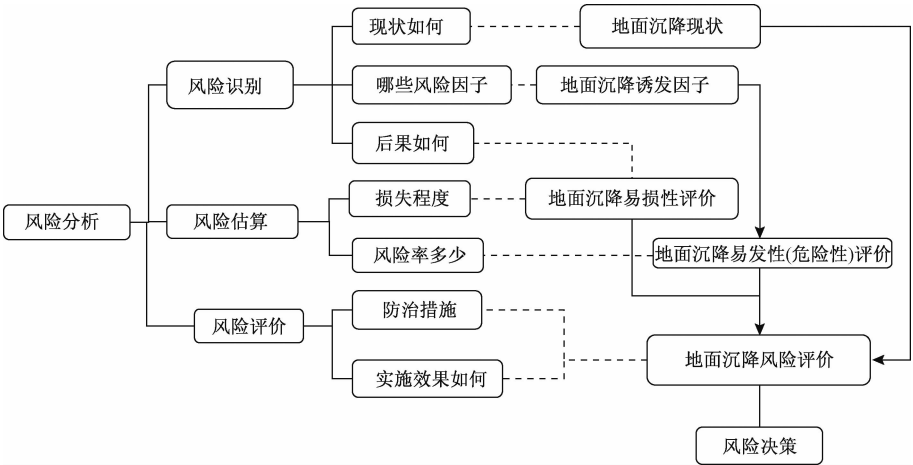


图 2 地面沉降风险系统构成要素关系示意图

Fig. 2 Model of risk evaluation on land subsidence

地面沉降风险评价指标因素众多(表1),相互影响,关系复杂,建立一个包含所有因素的模型来评价地面沉降在实际工作中几乎是不可能的。根据区内地面沉降实际情况,将地面沉降风险系统分解为若干子系统,对各子系统分别选取有代表性的评价项目(因子)。根据各因子不同表现程度进行等级划分并赋予不同分值,把所得分值相加得出综合评分,再根据综合评分进行总体评价。研究区内山地基岩区沉降很少不参与评价。

表 1 地面沉降风险评价指标因素

Table 1 Indicatorsof risk evaluation on land subsidence	
易发性/ 危险性	地质环境背景条件
	断裂构造发育程度
	新构造运动速率
	地壳稳定性
	地壳运动速率
	地震强度
	第四系覆盖层岩性
	基岩岩性
	含水层厚度
	软土层厚度
易损性	人类活动
	海平面上升速率
	地下水开采强度
	地下水位变化速率
	工程活动程度
	人工填土厚度
	市政基础损失
	民用工业建筑损失
	水利设施损失
	地面高程损失
潜在危害	人口分布
	人口结构
	土地资源
	地面沉降速率
地面沉降现状	
地面累计沉降量	

3.1 危险性(易发性)评价

3.1.1 评价指标及指标量化

根据前述地面沉降机理和影响因素(表1),分别选取地质环境背景条件、人类活动作为地面沉降易发性评价的子系统。

表 2 地面沉降易发性评价因子分级表

Table 2 Grade partition for land subsidence susceptibility assessment indexes								
序号	评价子系统	评价因子	各因素划分及分值					
1	地质环境背景条件	软弱类土厚度 h/m	> 30	20 < h ≤ 30	10 < h ≤ 20	5 < h ≤ 10	0 < h ≤ 5	0
2	人类活动	工程建设活动	-	-	大	中	小	极小
		地下水开发利用强度	-	-	大	中	小	极小
		分值	5	4	3	2	1	0

3.1.2 叠加评价

因本区地面沉降易发性评价相关研究少,假定各

地质环境背景条件方面,主要因素为第四系覆盖层岩性、软土层厚度,其余较为稳定。结合地层情况,选取包含欠固结填土和软土的软弱类土作为代表性因素。平面上软弱类土成分基本相似,其厚度成为主要决定因素,故以软弱类土厚度作为本次评价的因子参与评价。软弱类土厚度越大,可压缩固结的空间越大,对地面沉降的贡献越大,故厚度越大,赋予的分值越高。以软弱类土厚度为依据,按表2划分地质环境背景条件对地面沉降的贡献。

研究区经济活跃,发展迅速,工程建设活动频繁,水产养殖业发达,对地面沉降有影响的人类活动主要有工程活动和地下水开发利用。反映工程活动的指标应包括人类活动的类型、活动持续时间、活动强烈程度等,一般工程类型越大,持续时间越长,活动程度越强烈,最后建筑密度和重要性越大。结合本研究实际情况,选取具有代表性的建设工程密度作为评价因子参与评价。根据研究区建筑分布情况和建筑类型,从珠海市区-坦洲镇中心区、各区和镇中心区及重要工业园区、一般镇区和分散居民区、耕地和林地及鱼塘,依次划分为工程建设活动大、中、小、极小。反映地下水开发利用情况的要素应包括地下水开采量、地下水水位变化等指标^[10],由于工作区范围地下水动态监测一直处于空白状态,缺乏系统的资料,准确计算地下水开采量的数据也难于获取,因区内地下水开采仅为咸水养殖供水,根据咸水产养殖分布情况,结合取得的部分地下水水位数据划分出地下水开发利用强度分区:地下咸水需求量大的虾塘密集养殖区,开发利用强度高;地下咸水需求量略少的虾塘、鱼塘交错分布区,开发利用强度中等;少量虾塘区域或地下水资源缺少区,开发利用强度低;抽取海水供水无需开采地下水区域及无水产养殖区域,开发利用强度极低或无地下水开发利用。

工程活动和地下水开发利用对区内地面沉降为诱发或加剧因子,而软弱类土的分布情况为决定性的基础因子,故其分级略详细(表2)。

影响因子均等重要,各项因子得分相加即为综合得分。利用 MapGIS 空间叠加分析功能进行地面沉降易发性

叠加运算,得到范围为1~13的易发性指数,其中高易发区指数7~13,中易发区指数4~6,低易发区指数0~3。研究区地面沉降易发性以中等易发性为主,低易

发性次之,高易发性最少,基岩区基本发生地面沉降故不进行风险评价,评价结果见图3。

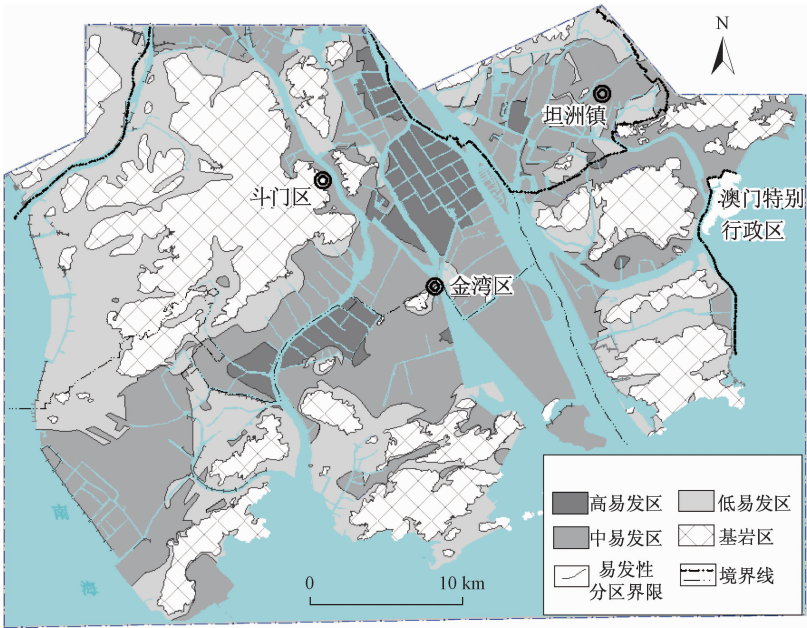


图3 珠海-坦洲地区地面沉降易发性评价分区图

Fig.3 Land subsidence susceptibility zoning of Zhuhai-Tanzhou area

3.2 易损性评价

3.2.1 评价指标及指标量化

易损性主要反映地面沉降可能对当地民众生命、财产造成威胁和破坏的程度,其评价体系应包括当地人口

密度、工程重要程度以及地面沉降灾害(潜在)灾情损失统计等指标,由于灾害(潜在)灾情损失主要为人员伤亡和财产损失,故选取当地人口密度和建筑物重要程度为本次评价指标。易损性指标等级划分及分值见表3。

表3 地面沉降易损性评价因子分级表

Table 3 Grade partition for land subsidence hazard vulnerability assessment indexes						
序号	评价因子	各因素划分及分值				
1	人口密度	人口分布密度大人类日常活动频繁(重要城镇)	人口分布密度中等人类日常活动较频繁(一般城镇)	人口分布密度小人类日常活动少(分散居民区)	人口极少或无居民(耕地、林地、鱼塘)	
2	工程重要性	高	中等	低	极低	
分值	3	2	1	0		

3.2.2 叠加评价

由于当地民众人身安全和财产安全均十分重要,故人口密度和工程重要性是两个并列指标,利用MapGIS空间分析功能划分研究区,选其最大值作为易损性最终得分,获得范围0~3的易损性指数,其中高易损性指数为3,中易损性指数为2,低易损性指数0~1。研究区地面沉降易损性以低易损性为主,高易损性次之,中等易损性最小,评价结果见图4。

3.3 现状评价

3.3.1 评价指标及指标量化

现状包括地面沉降的分布情况、沉降活动程度及

灾情损失等,通常地面沉降越活跃,造成的损失越大。故选取反映地面沉降活跃程度的沉降速率、累计沉降量来表征其危害程度^[13,23-24]。危害现状评价指标见表4。

3.3.2 叠加评价

地面沉降速率和累计沉降量均是现状严重程度的表现,把它们叠加选取较大值作为评价值。利用MapGIS空间分析功能划分研究区,得出危地面沉降害现状分布图(图5)。

3.4 地面沉降风险综合评价

把地面沉降易发性、易损性和地面沉降现状危害程度图三张图叠加分析,按表5进行划分得出研究区

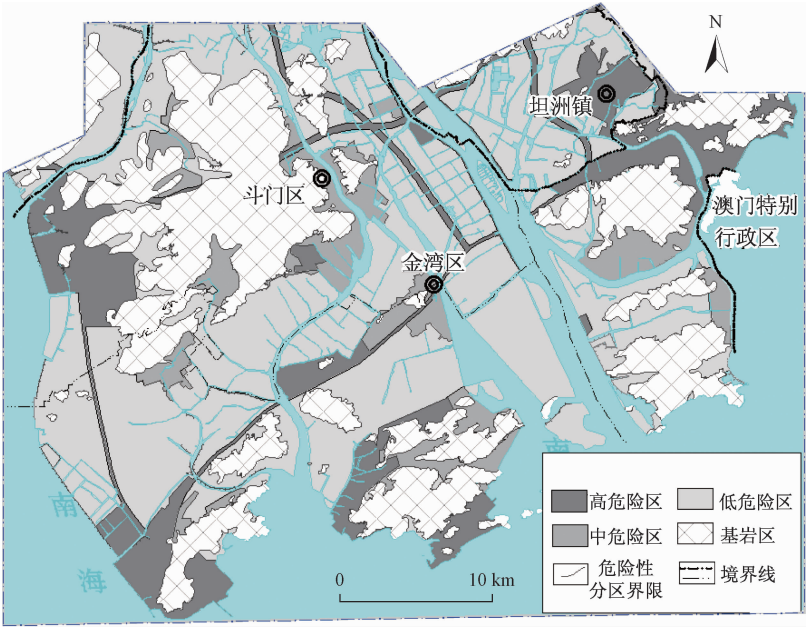


图 4 珠海-坦洲地区地面沉降易损性评价图

Fig. 4 Land subsidence hazard vulnerability zoning of Zhuhai-Tanzhou area

表 4 地面沉降现状等级划分表

Table 4 Grade partition for current situation on land subsidence

年沉降量/mm	< 20	20 ~ 50	> 50
累计沉降量/cm	< 10	100 ~ 10	> 100
地面沉降现状危害程度	危害程度小	危害程度中等	危害程度大

地面沉降风险分区图(图 6)。把风险分区图与易发性、易损性、现状危害程度图对比不难看出,风险性与易发性分区的总体走势基本一致,而高风险区则与现状危害程度大或高危险分区分布情况基本一致,体现了地面沉降风险综合评价以易发性为主兼顾其易损性和现状危害的综合评价方式。

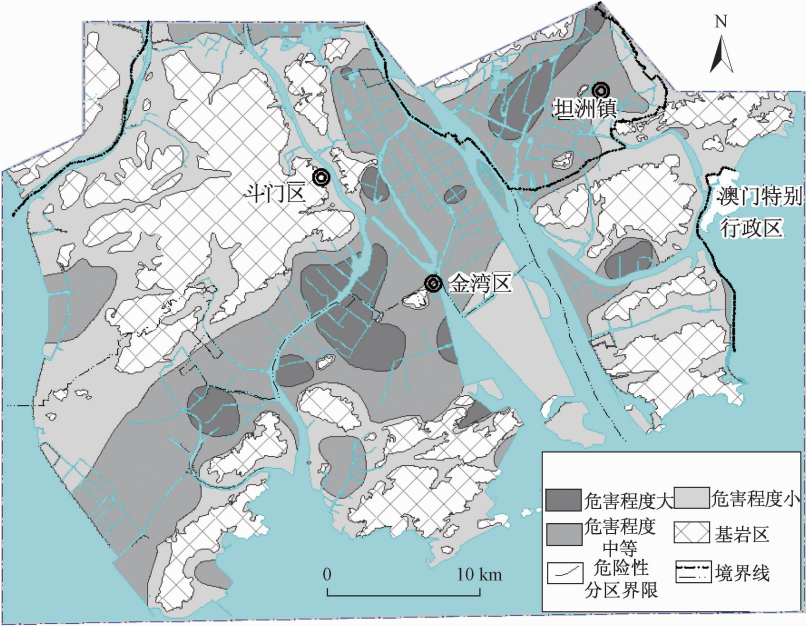


图 5 珠海-坦洲地区地面沉降现状评价分区图

Fig. 5 Land subsidence current evaluation zoning of Zhuhai-Tanzhou area

表 5 地面沉降风险等级划分表

Table 5 Grade partition for land subsidence risk

风险分区	高风险区	中等风险区	低风险区
易发危险性	高易发易损性大、高易发易损性中等、中易发易损性大	高易发易损性小、中易发易损性中等、中易发易损性小、低易发易损性大	低易发易损性中等、低易发易损性小
地面沉降现状危害程度	危害程度大	危害程度中等	危害程度小

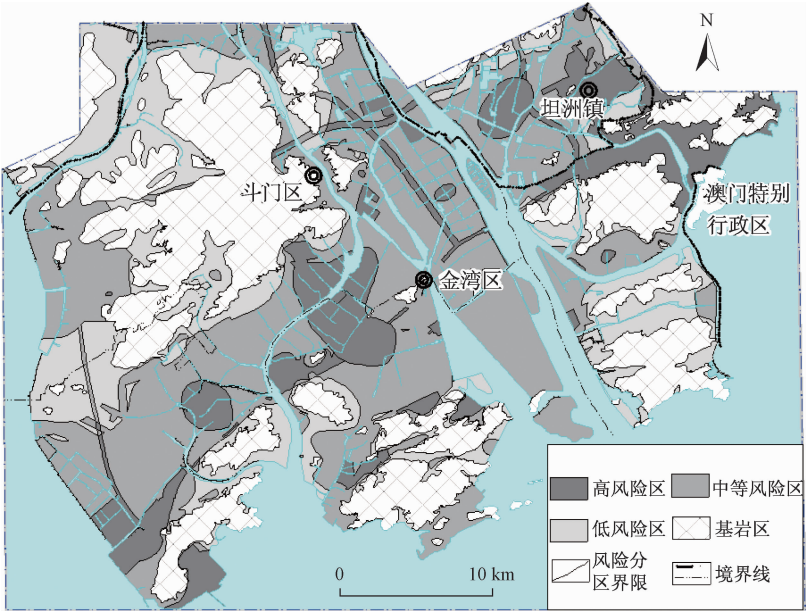


图 6 珠海-坦洲地区地面沉降风险分区图

Fig. 6 Land subsidence risk zoning of zhuhai-tanzhou area

风险评价结果表明研究区以中风险区为主,低风险区较少,高风险区最少,呈低风险区分布于基岩周边,中等风险区包围高风险区的趋势。其中,高风险区呈不规则块状断续沿北东向分布于东北部珠海-坦洲、中部新青村-联港工业园、西南部临港工业园区和平乐大道(X582)南段、及区内高速公路沿线;中等风险区广泛分布于中部三角洲平原区、滨海平原区和山间谷地,囊括了磨刀门和鸡啼门水道两岸三角洲平原大部分地区;低风险区是一般分布于基岩台地外围和山间谷地。

4 地面沉降防治对策与措施

根据对研究区地面沉降影响因素和造成危害分析及风险评价,地面沉降的防治对策与措施主要有以下几方面:

4.1 加强宣传工作,提高防灾减灾意识

加强地面沉降灾害的科普宣传,提高民众的防灾减灾意识,推普节约用水知识,提高居民们节约能源的意识。

4.2 科学规划,合理建设

根据地面沉降调查监测和评价成果,合理规划土地利用类型,如重要工程设施和人口密集区,应避开地面沉降高风险的区域。

4.3 专业防范和治理

首先,依法严格管理地下水资源,控制地下水开发利用,以其他水资源代替地下水资源。广种植被,增加地下水补给量,确保地下水采补相对平衡。工程建设中采取工程措施降低地面沉降风险,如加强软基加固处理等。

4.4 监测预警网

进一步健全地面沉降监测网,优化地面沉降监测预警体系,及时掌握沉降趋势、地下水动态,为相关政府部门的管理和决策提供科学依据。

5 结论

(1)研究区由于其特殊的地质、地理演化机制,沉积了厚数米至几十米不等的软弱土层,为区内地面沉降产生和发展提供物质基础。在自然因素和超采地下水、工程活动等人为因素的共同作用下,地面沉降现象十分普遍,局部危害严重。

(2)根据研究区区域地质、水文地质条件和地面沉降现状条件,分析地面沉降影响因素,构建风险评价体系,选取软弱类土厚度、工程建设密度、地下水开发利用强度、人口密度、工程重要性、年沉降量、累计沉降量等指标,进行易发性、易损性和现状评价,在此基础上开展地面沉降风险综合评价。

(3)评价结果表明:研究区以中风险区为主,低风险区较少,高风险区最少,呈低风险区分布于基岩周边,中等风险区包围高风险区的趋势。根据研究结果,从宣传、规划、防范和治理、监测预警等方面提出防治措施。

参考文献:

- [1] 支兵发. 影响珠江三角洲可持续城市化发展的若干环境地质问题[J]. 地质通报, 2005, 24(6): 576 - 581.
ZHI Bingfa. Environmental-geological problems impacting sustainable urbanization in the Pearl River Delta Economic Zone, Guangdong, China [J]. Geological Bulletin of China, 2005, 24(6): 576 - 581.
- [2] 董好刚, 黄长生、陈雯, 等. 珠江三角洲环境地质控制性因素及问题分析[J]. 中国地质, 2012, 39(2): 539 - 549.
DONG Haogang, HUANG Changsheng, CHEN Wen, et al. The controlling factors of environment geology in the Pearl River Delta Economic Zone and an analysis of existing problems [J]. Geology in China, 2012, 39(2): 539 - 549.
- [3] 张宇明. 浅析珠海西区欠固结软土地基的沉降灾害及防治[J]. 广东土木与建筑, 2010(6): 11 - 13.
ZHANG Yuming. Analysis on settlement disaster and prevention of underconsolidation soft soil foundation in western district of Zhuhai [J]. Guangdong Architecture Civil Engineering, 2010(6): 11 - 13.
- [4] 张琢. 珠三角地区软基沉降分析研究报告[D]. 长沙理工大学, 2012.
ZHANG zhuo. The soft base of the Pearl River Delta settlement analysis report [D]. Changsha University of Science & Technology, 2012.
- [5] 骆以道, 杨光华, 张玉成, 等. 深圳西部滨海海积软土工程特性及统计分析[J]. 土木工程与管理学报, 2012, 29(2): 79 - 86.
LUO Yidao, YANG Guanghua, ZHANG Yucheng, et al. Engineering characteristics and its statistical analysis of soft marine clay on Shenzhen West Coast [J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2012, 29(2): 79 - 86.
- [6] 刘会平, 王艳丽. 广州市地面沉降危险性评价[J]. 海洋地质动态, 2006, 22(1): 1 - 4.
LIU Huiping, WANG Yanli. An appraisal of ground subsidence fatallness in Pearl Delta: a case study of Guangzhou City [J]. Marine Geology letters, 2006, 22(1): 1 - 4.
- [7] 罗文林, 韩焯. 城市规划中地面沉降灾害的风险评估方法研究[J]. 上海国土资源, 2014, 35(4): 142 - 245.
LUO Wenlin, HAN Xuan. A risk assessment method for land subsidence in urban planning and construction [J]. Shanghai Land & Resources, 2014, 35(4): 142 - 245.
- [8] 段学敏. 基于 Gig 的沧州地面沉降危险性区划[D]. 中国地质大学(北京), 2013.
DUAN Xuemin. GIS-based hazard zoning of land subsidence in Cangzhou [D]. China University of Geosciences (Beijing), 2013.
- [9] 刘德成, 何静. 北京市通州区地面沉降危险性评价与区划[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2008, 19(3): 158 - 162.
LIU Decheng, HE Jing. Risk assessment and zoning of land subsidence in Tong Zhou District of Beijing [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2008, 19(3): 158 - 162.
- [10] 杨勇, 郑凡东, 刘立才, 等. 地下水开采引发的地面沉降易发性区划及控制措施[J]. 中国地质, 2013, 40(2): 653 - 658.
YANG Yong, ZHENG Fandong, LIU Licai, et al. Susceptibility zoning and control measures on land subsidence caused by groundwater exploitation [J]. Geology in China, 2013, 40(2): 653 - 658.
- [11] 姚晶娟, 束龙仓, 朱兴贤, 等. 基于 GIS 的地面沉降易损性评价[J]. 工程勘察, 2011(6): 36 - 41.
YAO Jingjuan, SHU Longcang, ZHU Xingxian, et al. Vulnerability assessment of land subsidence based on GIS [J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2011(6): 36 - 41.
- [12] 于军, 束龙仓, 温忠辉, 等. 锡西—澄南典型地面沉降区地面沉降风险评价[J]. 地质学刊, 2012, 36(1): 74 - 79.
YU Jun, SHU Longcang, WEN zhonghui, et al. Risk evaluation of ground subsidence in typical ground subsidence Zones of western Wuxi and southern Jiangyin areas [J]. Journal of Geology, 2012, 36(1): 74 - 79.

- [13] 闫满存,王光谦,李保生,等. 广东沿海陆地主要地质灾害及其控制因素分析[J]. 地质灾害与环境保护, 2000, 11(3):204-211.
- YAN Mancun, WANG Guangqian, LI Baosheng, et al. Study on geological disasters and their control factors in the coast Land of Guangdong [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2000, 11(3):204-211.
- [14] 朱照宇,周厚云,钟建强,等. 广东沿海陆地地质灾害时空分布特征[J]. 热带海洋学报, 2002, 21(1):18-26.
- ZHU Zhaoyu, ZHOU Houyun, ZHONG Jianqiang, et al. Space-time distributions of geological hazards land along coast of Guangdong Province [J]. Journal of Tropical Oceanography, 2002, 21(1):18-26.
- [15] 许乃政,姜月华,王敬东,等. 我国东南沿海地面沉降类型及其特点[J]. 灾害学, 2005, 20(4):67-72.
- XU Naizheng, JIANG Yuehua, WANG Jingdong, et al. The types and characteristics of the ground subsidence in Southeastern China coastal region [J]. Journal of Catastrophology, 2005, 20(4):67-72.
- [16] 赵慧. 地面沉降的人为主控因素研究[D]. 长安大学, 2005.
- ZHAO Hui. The research of land subsidence's master-control factor created by men [D]. Chang An University, 2005.
- [17] 付佳. 人类活动对黄河三角洲地面沉降影响分析[D]. 中国科学院海洋研究所, 2012.
- FU Jia. Analysis of impacts of anthropogenic causation on land subsidence in the Yellow River Delta [D]. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2012.
- [18] 刘勇. 黄河三角洲地区地面沉降时空演化特征及机理研究[D]. 中国科学院海洋研究所, 2013.
- LIU Yong. Spatiotemporal evolution of land subsidence and mechanism discussion in the Yellow River Delta, China [D]. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2013.
- [19] 张金芝. 基于 InSAR 时序分析技术的现代黄河三角洲地面沉降监测及典型影响因子分析[D]. 中国科学院海洋研究所, 2015.
- ZHANG Jinzhi. Monitoring of land subsidence in Modern Yellow River Delta based on InSAR time series analysis techniques and the analysis of its typical influence factors [D]. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2015.
- [20] 杨林权. 荷载和地下水开采作用下的地面沉降数值模拟及应用研究[D]. 中国地质大学(武汉), 2014.
- YANG Linquan. Numerical simulation of land subsidence considering both effects of load and groundwater exploitation and applications [D]. China University of Geosciences (Wuhan), 2014.
- [21] 刘毅. 地面沉降研究的新进展与面临的新问题[J]. 地学前缘, 2001, 8(2):273-278.
- LIU Yi. Land subsidence research approaches and advent problems [J]. Earth Science Frontiers, 2001, 8(2):273-278.
- [22] 薛禹群,张云,叶淑君,等. 中国地面沉降及其需要解决的几个问题[J]. 第四纪研究, 2003, 23(6):585-593.
- XUE Yuqun, ZHANG Yun, YE Shujun, et al. Land subsidence in China and its Problems [J]. Quaternary Sciences, 2003, 23(6):585-593.
- [23] 胡蓓蓓,姜衍祥,周俊,等. 天津市及近郊区地面沉降灾害风险评估与区划[J]. 中国人口·资源与环境, 2008, 18(4):28-34.
- HU Beibei, JIANG Yanxiang, ZHOU Jun, et al. Assessment and zonation of land subsidence disaster risk in urban and suburb of Tianjin [J]. China Population, Resources and Environment, 2008, 18(4):28-34.
- [24] 杨艳,贾三满,王海刚,等. 北京规划新城地面沉降影响分析[J]. 市政设施规划, 2013, 37(11):67-71.
- YANG Yan, JIA Sanman, WANG Haigang, et al. Analysis on impact of land subsidence on planned new cities in Beijing [J]. Civil Facilities Studies, 2013, 37(11):67-71.